



РУСПОЛИМЕТ

(АО «Русполимет»)

607018, Россия
Нижегородская область, г.о.г. Кулебаки,
г. Кулебаки, ул. Восстания, 1/15, каб. 304
Факс: +7 (83176) 5-12-75, 5-44-60
Тел.: +7 (83176) 7-90-00, 7-90-69
E-mail: ruspolymet@ruspolymet.ru

ОГРН 1055214499966
ИНН/КПП 5251008501/525101001

№ 83-02/1-10 от 28.11.2023
На № _____ от _____

Начальнику отдела учёных
степеней, учёному секретарю
диссертационного совета НИТУ
МИСИС
Самошиной Марине Евгеньевне
Адрес: 119049, Москва, Ленинский
проспект, д. 2, каб. В-822
Эл. почта: dissovets@misis.ru

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Агеева Максима Игоревича

**«Получение порошков жаропрочных никелевых сплавов и их применение в
аддитивных технологиях»,**

представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 2.6.5 «Порошковая металлургия и композиционные материалы»

Порошковая металлургия жаропрочных никелевых сплавов (ЖНС) исторически связана с авиационной промышленностью, и развитие производства порошков ЖНС началось с потребности разработки способов охлаждения турбинных лопаток. Современное развитие производства порошков ЖНС тесно связано с аддитивными технологиями и ракетостроением, и направлено на максимальное приближение к конечным геометрическим параметрам изделий. Получение качественных продуктов и деталей со сниженной себестоимостью и повышенным коэффициентом использования материала зависит от получения качественных порошковых материалов сферической формы и определенным химическим и гранулометрическим составом.

Диссертационная работа Агеева М.И., направленная на разработку эффективных методов получения сферических и овализованных порошков жаропрочных никелевых сплавов и их апробацию в технологиях прямого лазерного выращивания (ПЛВ) и селективного лазерного сплавления (СЛС), является актуальной.

Наиболее важные результаты диссертационной работы, обеспечивающие научную новизну исследований и полученных данных:

1. Водопадный режим механической обработки распыленных порошков ЖНС позволяет устранить сателлиты, овалить частицы по механизму галтовки и улучшить физико-технологические свойства порошков: снизить время истечения порошка на 25-30 %, увеличить насыпную плотность на 13-15 %, плотность утряски на 8-10 %.

2. Повышенную жаростойкость при 1150 °С имеют литые СВС-сплавы, легированные цирконием, и имеют прирост массы 0,7 г/(м²·час). Высокую жаростойкость обеспечивают наноразмерные выделения фазы $Zr_5Al_3O_{0,5}$ в защитном слое оксида алюминия, которые снижают каталитическую активность и блокируют внешнюю диффузию кислорода и азота.

3. Вакуумный отжиг при 1250 °С увеличивает предел прочности на 150 МПа за счет дисперсных выделений фазы Cr(Mo) размером 150-400 нм вдоль межзеренных границ β -фазы и размером 20 нм в теле дендритных ячеек сплава base+15%Mo, а в состоянии СЛС+ГИП+ТО прочность сплава достигла значения 2318 МПа за счет формирования когерентных межфазных границ зерен $(Mo_{0,8}Cr_{0,2})_xV_y$ и Cr_3Mo_3C .

4. Методом просвечивающей электронной микроскопии доказано упрочняющее влияние фаз Лавеса Co_2Nb и Cr_2Nb , Гейслера Ni_2AlHf и карбидов $(Hf_xNb_y)C$ на сплав base+1%Nb-0,9%Hf. Важно, что временное сопротивление деформации при растяжении возросло с 1360 МПа до 1870 МПа.

Выполненный объем экспериментальных исследований и установленные закономерности будут полезны при выполнении практических задач по улучшению свойств ЖНС для аддитивных технологий.

Научные положения и выводы, сформулированные в диссертации, достаточно обоснованы и экспериментально проверены. Достоверность и обоснованность результатов диссертационной работы подтверждаются большим объемом экспериментальных данных, их корректной обработкой и анализом в сравнении с современной литературой, применением широкого спектра современного технологического и аналитического оборудования.

По автореферату диссертации можно сделать следующие замечания:

1. В оптимальных режимах плазменной обработки сплава $\text{base}+1\%\text{Nb}-0,9\% \text{Hf}$ достигнута степень сфероидизации 98% (страница 27). Возможно получение порошков с более высокой степенью сфероидизации и что для этого необходимо?

2. На основе проведенных исследований построены модельные образцы теплонагруженных деталей. Данные детали построены в натуральный размер или это детали, изготовленные в масштабе (рисунок 26, страница 34)? Проводились ли промышленные испытания данных деталей?

Сделанные замечания не влияют на общую высокую оценку диссертации. Работа отвечает требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям и Положения о порядке присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском технологическом университете «МИСИС», а ее автор Агеев Максим Игоревич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.5 – Порошковая металлургия и композиционные материалы.

Начальник управления инновационного и
технического развития АО «Русполимет»,
кандидат технических наук



Явтушенко П. М.

«28» ноября 2023 г.

АО «Русполимет», 607018 Нижегородская область, г. Кулебаки, ул. Восстания, 1/15
телефон: +7 910 105 06 45

e-mail: p.yavtushenko@ruspolymet.ru

2.6.3 - Литейное производство

Я, нижеподписавшийся, даю согласие на
включение моих персональных данных в
документы, связанные с защитой
диссертационной работы Агеева Максима
Игоревича, и их дальнейшую обработку.



Явтушенко П.М.